

1999年集集地震による台中市および豊原市の 建物被害と発生要因

植 村 善 博

〔抄 録〕

The purpose of this paper is to examine the relationship between architectural damage and geomorphologic condition caused by 1999 Chi- Chi Earthquake, Taiwan. On the relation between both, cases of Fengyuan (豊原) affected by surface rupture and Taichung (台中) located on terraced fan were studied. The results obtained are followings.

- 1) Damage of buildings and houses along surface rapture of Chelungpu fault in Fengyuan city was due to surface deformation by flexure associated with reverse faulting.
- 2) Architectural damage of Taichung city is strongly affected by historic and geomorphologic condition of each area. Many high apartment buildings were severely damaged by strong shaking and liquefaction due to soft ground distributed underneath river floor and valley bottom.

キーワード 建物被害、地形条件、1999年集集地震、台湾

Keyword: architectural damage, geomorphologic condition, 1999 Chi-Chi Earthquake, Taiwan

1. はじめに

1999年集集地震の発生から10年以上が経過した。本地震について、車籠埔断層の活動による地表地震断層の特徴と地震動⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、広域的に発生した地震災害と迅速に取り組みれた緊急対応や復興事業⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾などについて多くの研究や総括がなされている。しかし、建物被害と地形との関係について論じた研究は少ない⁽⁷⁾。これは研究者の関心が地表地震断層に集中したこと、台湾では精密な地形分類図が作成されていないことによる。筆者は地震直後の調査(1999年10月)および2009・2010年の再調査を通じて、本地震の被害実態が地形条件に強く支

配されており、今後の地震被害の軽減に活断層および地形条件を考慮した対策が必要であるとの確信をもつに至った。本稿では台湾の自然災害を概観した後、台中盆地の豊原市および台中市における建物被害と地震断層および地形条件との関係を明らかにし、活断層法および地形条件図の整備の重要性に言及したい。

2. 台湾の自然災害と921集集地震

（1）自然災害の特徴

台湾は自然災害の多発地帯である。その最大の理由は太平洋西縁の弧状列島をなし、太平洋プレートとフィリピン海プレートとの衝突境界に位置することにある⁽⁸⁾。すなわち、1) プレート衝突による脊梁中央山脈の隆起が激しく高度3,000m級の高山域が広く分布する（図1）。このため起伏量が大きく地形は急峻である。2) 山地は複雑な地質構造ともろい岩盤から構成されており、不安定な地質条件下にある。また、高度1,000m以下に広がる広大な丘陵は半～未固結の新第三紀～第四紀層からなり、侵食により崩壊が多発する。3) 低地・台地・丘陵・山地の各地形境界には活断層が分布し、急傾斜の断層崖を発達させるとともに被害地震を多発させている。さらに、4) 全島が熱帯～亜熱帯モンスーン地帯にあって年1,500mm以上の降水量をもち、高山域では年3,000mm以上に達する。全降水の約7割が夏季の梅雨と台風によってもたらされ、洪水や崩壊が多発する。5) 台北・台中・高雄など西部大都市圏では急速な都市化が進み、無秩序で安全性を無視した土地開発や安直で耐震性の低い住宅や高層ビルなどが急増している。

つぎに、1971～2000年の30年間における災害発生を検討した林⁽⁹⁾により自然災害の特徴を概観しておこう（表1）。

1) 被害件数：地すべりと崩壊が1・2位で、両者で546件と全体の52.3%を占める。急峻な山地域において不安定な斜面が広く分布していることを示す。ついで、洪水の173件（16.6%）、地震の118件、土石流の116件の順となる。

2) 死傷者数：地震による死傷者が14,736名と圧倒的多数を占める。この大部分は1999年集集

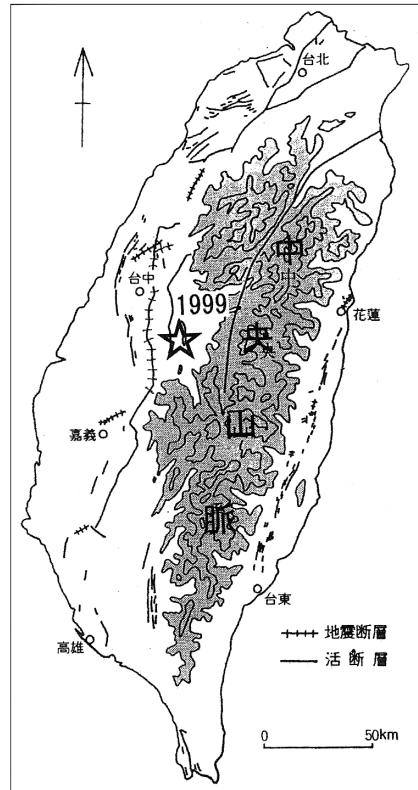


図1 台湾の活断層と集集地震の震央（8）に加筆
等高線は、1,000m間隔、☆は震央

地震（以下921地震と称する）に起因する。921地震による被害者を除く地震の死傷者は2位で926名（19.0％）に達し、地震被害による割合は高い。一方、台風による2,428名（49.9％）が約半分を占めて圧倒的に多く、洪水による917名（18.8％）を合わせると3,345名で約7割に達する。毎年繰り返し発生する台風と洪水による人身被害が深刻である。

3）全・半壊家屋数：921地震による家屋被害は全壊50,652戸、半壊53,615戸で総計約10.4万戸に達する深刻なものだった。これを除く地震被害では2,187戸（4.2％）と少なく、台風による33,693戸（64.0％）と洪水による16,228戸（30.1％）とが断然抜きんでており、両者で約9.5割を占める。

過去30年間における自然災害では921地震の影響を除くと、台風と洪水の発生頻度および被害数が極めて大きく災害対策の最大課題であるといえよう。しかし、低頻度とはいえ直下型地震への対策を怠ることはできない。

（2）921集集地震

1999年9月21日（火曜日）午前1時47分、M=7.3の集集地震が台湾中部で発生した（図1）。これに伴って中央山脈西縁に南北延長約100kmにわたる地表地震断層が出現した⁽¹⁰⁾。これは既存の車籠埔断層に沿って出現し、東傾斜の低角逆断層としての特徴をもつ。強烈な地震動によって山間地域を含む広い範囲が被災し、史上最大規模の被害が生じた⁽¹¹⁾。しかし、台中市などの大都市は直撃されることがなかった。地震大国の台湾において、921地震は1941年

表1 1971～2000年間の自然災害の発生状況（9）により作成

災害名	発生件数	死傷者	建物被害
崩壊	241	595	295
地すべり	305	182	498
土石流	116	185	1,021
地震	118	926	2,187
921地震		13,810	103,961
台風	90	2,428	33,693
洪水	173	917	16,228
合計	1,043	19,043	157,883

表2 過去160年間の主要被害地震（8）および（12）により作成

地震名	年月日	M _L	D km	死者	負傷者	全壊	半壊
彰化	1848/2/12	7.1	10	1,030	?	22,664	
北港溪	1904/11/6	?	6.3	145	158	661	3,179
嘉義・梅山	1906/3/17	7.1	浅	1,258	2,385	6,769	14,128
埔里	1917/1/5	5.8	?	54	85	755	
新竹・台中	1935/4/21	7.1	10	3,279	12,053	17,907	36,781
嘉義・中埔	1941/12/17	7.1	10	358	733	4,520	11,086
台南新化	1946/12/5	6.3	浅	74	482	1,954	2,084
花蓮東南東	1951/10/22	7.3	浅	68	865	2,382	
台南東北東	1964/1/18	6.5	20	106	650	10,502	25,818
集集	1999/9/21	7.3	8	2,499	11,305	51,788	54,420

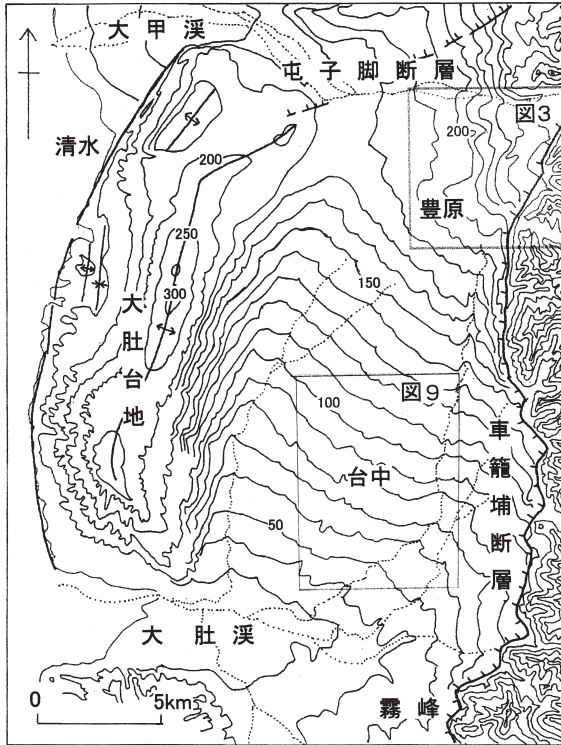


図2 台中盆地の地形概観
等高線は10m間隔

12月17日嘉義地震以来54年ぶりの大規模地震である。過去160年間に発生した被害地震を表2に整理した。これによると、台湾では過去160年間に死者1,000人を超える大震災が4回発生している⁽¹²⁾。その頻度は平均約40年に1回という高さで、人の一生に2回という計算になる。

（3）台中盆地の地形

台中盆地は北部に豊原市、南部に台中市が位置する台湾中部の中核地区をなす。盆地は東西約10km、南北約20kmで、長方形の箱状盆地をなし、北端を大甲溪、南端を大肚溪によって限られている。図2は10m間隔の等高線図である。盆地の西側には南北にのびる大肚台地が発達する。これは高度200～310mの広大な河成段丘面からなる。中央部には活褶曲軸が走るが、その北端部で1935年の屯子脚地震断層がこれに並行して出現した。また、台

地西縁に沿って清水断層とよぶ活断層が分布している。大肚台地は逆断層と活褶曲の組み合わせによる複雑な隆起運動によって形成された変動地形である。一方、盆地東側には脊梁の雪山山脈西縁に位置する加裏山地とよばれる丘陵地が分布する。これは主に新第三紀の堆積岩層からなり、丘陵と低地との境界は車籠埔断層に一致している。この断層の最新活動が921地震を発生させた。このように、台中盆地は東を車籠埔断層に限られ、西側の清水断層の上盤に位置しており、fold and thrust belt における活動的な変動性盆地であるといえる。

盆地内は南へゆく高度を下げる扇状地面が卓越する。その高度は北東端の豊原市朴子口で約240m、南端の大里市南部で約30m、平均10.5%の勾配で南南西へ傾斜している。これを台中扇状地面とよぶ。図3の地形分類から、この扇状地面はFT1面相当の段丘面の南方への延長であると判断される。現在は西流して台湾海峡に流入する大甲溪は、かつて南流して台中盆地に流れ込んで扇状地を形成、大肚溪に合流していた。台中扇状地面の形成年代は約6千年前頃と推定される⁽¹³⁾。その後、大規模な流変更が生じ、現在の西への流路に変わった。また、扇状地の東西両側方部には堆積が及ばなかった埋め残し性低地が分布し、そこに旱溪および筏仔溪が南流している。

3. 豊原市東部における地表地震断層と活断層法

豊原市は台中盆地北部、大甲溪の南岸を占める人口約16万人の都市で、台中都市圏の一部を構成する。ここは車籠埔断層の北端部にあたり、地表地震断層が走向を東西へ大きく変える。断層が数本に分岐するとともに水平ずれ成分が大きくなっている (図3)。本地域における地形、地表地震断層と建物被害の関係を検討するため、震災直後と2009年2月に豊原市東部の南陽橋から北へ埤頭の間で調査を実施した。また、地震1カ月後撮影の空中写真から地形および撤去建物などを判読した。図3は本地域の地形分類と地表地震断層の分布である。

(1) 地形

車籠埔断層によって東側の丘陵と西側の低地に区分される。北端の大甲溪は中央山地を源流域とし西流、中流の中和と東勢間では北流し、さらに再び西流して丘陵を横断して低地へ出る。この大きな鍵型の屈曲流路は西側の丘陵の隆起により流路が迂回を余儀なくされた結果と考えられる。

1) 丘陵 車籠埔断層の東側には比高100~150m程度の断層崖が形成されており、その背後に高度300~600m程度の開析の進んだ丘陵が発達している。高度は南高北低を示し、高度400~500mに顕著な定高性が発達する。断層崖は侵食が進み、断層位置より後退している。丘陵の地質は中新統の柱竹林層、鮮新~更新統の卓蘭層、更新統の頭料山層から構成されている。

2) 段丘 大甲溪南岸には多数の河岸段丘面が発達する。台湾中西部の段丘区分は、表層に赤色土をもつLT面系とそれをもたないFT面系に二大別される。これに従うと、本地区ではLT面系が4面に、FT面系が3面に細分される。つぎに各段丘の特徴を上位から下位へ順に

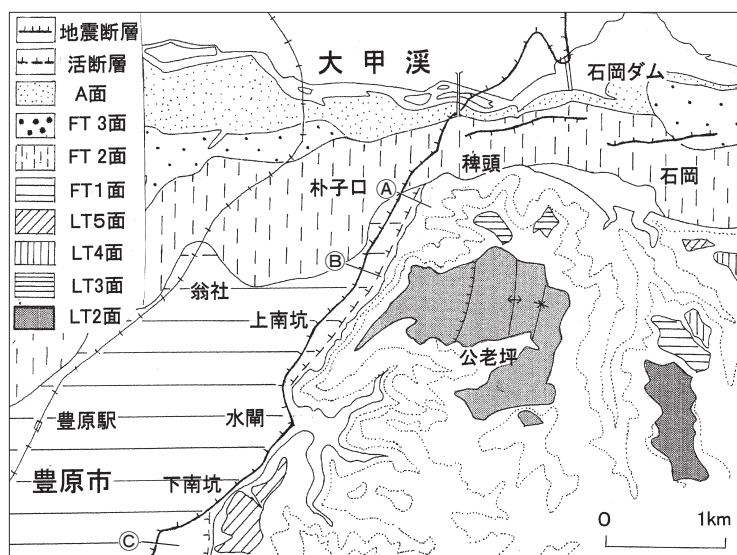


図3 豊原市東部の地形分類と地表地震断層
空中写真の判読により作製

要約しておく。形成年代は劉⁽¹³⁾による値を採用した。

LT2 面：本地区で最高位の段丘で、高度380～500mに台地状の広い面を発達させる。公老坪では活褶曲による変形を受けており、その西端で比高数mの西落ち低断層崖により切られている。形成年代：約80ka（1,000年前、以下同じ）

LT3 面：LT2 面の北側に分布し、高度450～480mの面を形成する。 形成年代：約70ka

L4 面：430～450m程度の高度をもつ。 形成年代：50～60ka

LT5 面：分布は極めて断片的で、高度は380～400m程度。豊原東部の南上坑には高度250～310mの本面が断層崖に付着して分布する。形成年代：約40ka

FT1 面：大甲溪南岸から南西へ広がる扇状地性の段丘面で、車籠埔断層より東の上流側にはほとんど分布しない。面の高度は翁社付近で約240m、豊原付近では高度220mに低下し、さらに南方へ連続的に発達していく。形成年代：約6 ka

FT2 面：大甲溪に沿って最も連続性のよい面を形成する。石岡付近で高度270m、埤頭で260m、下流の朴子口で230m程度となる。形成年代：3.5～4ka

FT3 面：最も低位の河岸に接した位置に分布する。石岡付近で高度270m、下流の溪底で210～230mとなる。形成年代：2.7～3ka

本地区の LT 面群の高度と河床からの比高より平均下刻速度を求めると2.9～3.7m/ka となり、隆起速度はかなり速い。また、新期のものほど大きな値を示し下刻が加速している可能性がある。

（２）被害の特徴

本地区の車籠埔断層は柱竹林層と卓蘭層との間にはさまれる錦水頁岩の層面に沿って活動するデタッチメント断層と考えられる⁽¹⁴⁾。一方、地表地震断層は丘陵末端の推定活断層の位置より100～500m西側の低地に出現した。地表に生じた変形は東上がりの低角逆断層の特徴を示し、顕著な撓曲帯を形成している。

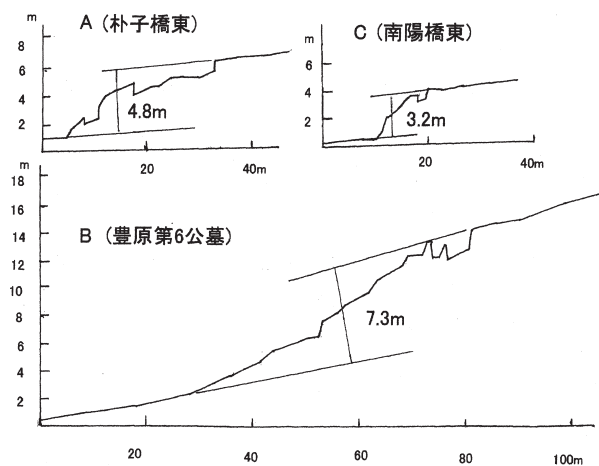


図4 豊原市東部の地表地震断層の実測断面
断面位置は図3に示す

変位地形の実測断面を図4に示す。地表地震断層の縦ずれ変位量はA（朴子橋東）で4.8m、B（第6公墓）で7.3m、C（南陽橋東）で3.2mであった。また、撓曲帯の幅はAから順に29m、50m、11mと変化が大きい。3地点とも撓曲頂部付近に張力性の地溝を伴うことが特徴といえよう。建物被害は、断層をまたいだものや撓曲帯内に位置しているものは例外なく大破している。一方、下

盤側では被害が少なく、断層に近接する建物ですら破損していないものが多い。上盤側でも変形帯から少し離れた建物には被害がほとんど見られない。このような事実は建物被害が断層変位の直接的結果であり、断層から離れた建物に被害が少ないのは断層運動がかなり緩やかだったことの反映である。大内他⁽¹⁵⁾は加速計記録から断層破壊は1～2 m/秒と推定しており、ゆっくりとした動きだった。建物被害の大部分は地盤の変位・変形によるものだと判断できる。

(3) 活断層法の施行

上述のように地表地震断層による建物破壊は激甚で、活断層の危険性が指摘される。1972年に合衆国カリフォルニア州において世界最初の活断層法が施行された⁽¹⁶⁾。これは活断層を挟む片側15m×2の幅30mの範囲内で新規の住宅建設や宅地開発を禁止するものである。ニュージーランドでもウェリントンなどの都市域で活断層規制が実施されている⁽¹⁷⁾。台湾は地震断層沿いの深刻な被害経験から世界で3番目に活断層法をもつ国となった⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。その経過を以下に簡単に要約し、日本における活断層法導入に対する教訓としたい。

1) 1999年11月：車籠埔断層に沿った変位帯内で大被害が発生したため、5千分の1スケールの地表地震断層トレース図を完成させた。そして、地表地震断層をはさむ片側50m×2の幅100m内での建築制限実施した(建築法第47条)。

2) 1999年12月24日：1000分の1スケールの断層帯トレース図をもとに、都市計画区域では片側15m×2の幅30mの土地で2年間の建築制限を実施することに変更した(都市計画法第81条)。この禁建区内では①公共建築物の禁止、②自家用の建築物は2階建、高さ7m以下に制限、③土地売買などに際し断層上の位置にあることを明示するよう求めた。

3) 2001年12月31日：都市計画法第81条による幅30m内の建築制限が終了。以後は都市計画法第32条の土地使用分区分管制により建築制限を実施し、自治体がその手続きや許可をおこなうことになる。

4) 2002年11月14日：九二一重建会は車籠埔断層帯土地処理方策を発表。断層帯内の建物再建について、低密度の建物復興、断層直上の土地は土地交換や購入により駐車場や公園などに利用すること、高さ制限を空積率により実施すること、集落の移転による再建などの指針を表明した。

5) 2010年4月現在、51本の活断層に関して敏感区を指定し、開発規制と地質調査を義務づける法案が検討されている。

日本と同様に人口密度が高く、延長約100kmの車籠埔地震断層をはさむ幅100mの膨大な土地に対する建築規制に大きな混乱と反発があった。また、亀裂や傾斜した土地の利用や売買は困難であった。その後、詳細な断層図の公表や地籍測量の実施により片側15m×2の30mを禁建区として現実的運用をおこなっている。これは都市計画区域で実施されており、山間地では厳しい制限は行われていない。

次に具体的事例をみてみよう。台中市大坑地区では地表地震断層が住宅地区を切り裂いて出

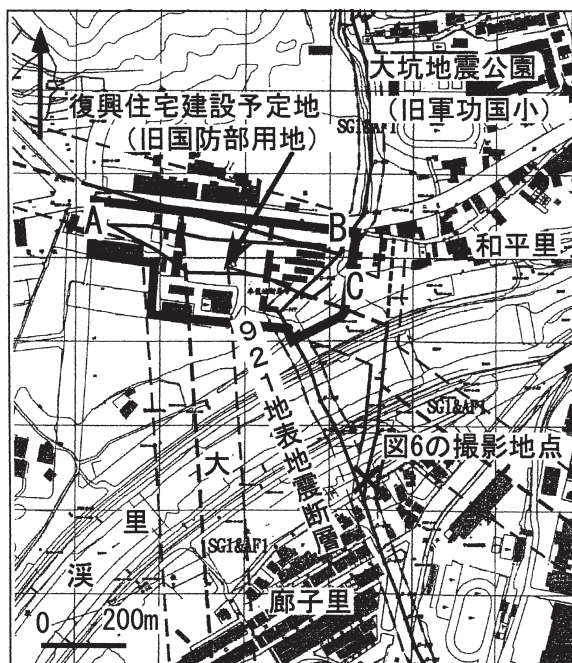


図5 大坑地区の地表地震断層のトレースと地質断面の位置（21）に加筆

現、直上の建物は破壊された（図5）。大里溪右岸の和平里では175棟が全壊、軍功国小は使用不能になった。左岸の廊子里では88棟が全壊した。縦ずれ3.3m、右横ずれ5.8mの変位量をもつ地震断層が出現、現在も道路に大きな段差ができています（図6写真A）。両地区では幅30mの禁建区の面積は12.7haで、73棟が移転対象になった。政府資金により大里溪北岸の旧国防部用地へ移転して再建する計画がたてられ賛成をえた⁽²⁰⁾。しかし、地質調査により地下に活断層が伏在している可能性が指摘されたため⁽²¹⁾、この計画を廃棄し他地点への再建に変更された。旧国防部用地において図5のA－Bおよ



図6 写真A 廊子里の地表地震断層（A：1999年撮影、1）による



図6 写真B 写真Aと同地点の禁建区の状況（B：2010年4月撮影）

びA—Cの地質柱状図を検討した結果、図7のように断層の位置は推定⁽²¹⁾より約300m東側に伏在していること、地表地震断層とスムーズに連続すること、砂礫層上面に2～3mの西落ちの変位を与えていることが判明した。そして砂礫層堆積後、1999年地震による変位のみを受けたことを示す。和平里では軍功国小が地震記念公園となり、断層帯は駐車場などに利用されている。一方、廊子里における禁建区は空地のまま住宅地内に放置されおり、立ち退き区域に隣接する住宅はもとの位置に再建されている（図6写真B）。

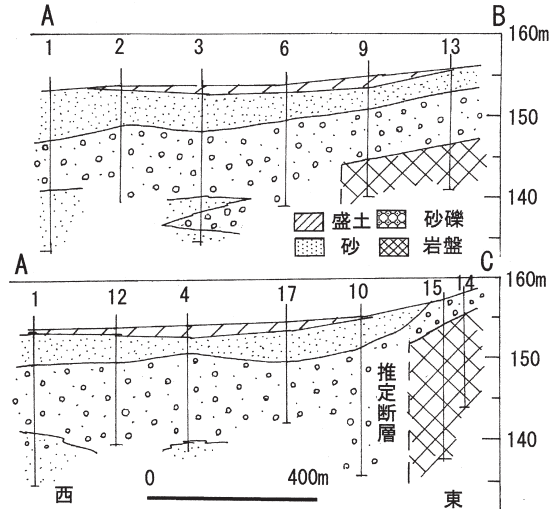


図7 旧国防部用地（移転予定地）の地質断面
(21) により作成
断面位置は図5に示す

4. 台中市における建物・高層住宅の被害と地形条件

(1) 台中市の地形環境

台中市は台中盆地南部に位置する人口約95万人の台湾第3位の大都市である。近年、ハイテク産業を中心に経済発展が著しく、都市化による急速な市街地拡大が北方および西方へ進んでいる。台中市の位置する台中扇状地面は130mから約40mの高度をもち、南南西方向に約0.96%の勾配で低下していく。面上には旧流路を踏襲したと推定される緑川、柳川、梅川、麻園頭溪などの河川が最大傾斜方向に南流している。これらは扇状地面を下刻しながら蛇行を繰り返えすとともに、流路に沿って箱状の谷底低地を形成している。高度80m以下では下刻が著しく、谷底から最大比高2～5mの侵食崖を生じている。日本統治時代の都市計画事業によって、都心部の緑川、柳川、梅川は流路つけ替えや直線化工事が進み、廃川化や暗渠化された部分が多い。一方、日治時代直前には大墩街と1891年に中断され放置された城壁が残る以外は農地であった。その後、初期の都市計画により建設された台中市街地は中区を中心に東西北の各区の一部を含み、高度65～90mの扇状地上の湧水帯に位置した。このため、高度60～75mに谷頭をもち南流する6本の小河川が認められる。また、東部の旱溪は幅約200～300mの広い氾濫原をもち、地下地質は図7に代表されるように、地表直下に厚さ2～5mの砂からなる細粒層、その下位に扇状地の構成層である砂混じり砂礫層が厚さ10m以上で分布している。

(2) 建物被害の概要

本市街地の中心部は車籠埔断層から西へ約4～5km離れている。地震時の加速度は北屯区で

表 3 台中市区別の死傷者および建物被害（20）により作成

区名	死者	重傷者	死傷者数	全壊住宅	半壊住宅	被害戸数
中区	1	0	1	3	24	27
東区	9	10	19	34	401	435
西区	1	1	2	16	69	85
南区	5	2	7	846	2,158	3,004
北区	0	0	0	1,205	428	1,633
西屯区	1	0	1	0	99	99
南屯区	0	0	0	0	164	164
北屯区	97	35	132	696	395	1,091
総計	114	48	162	2,800	3,738	6,538

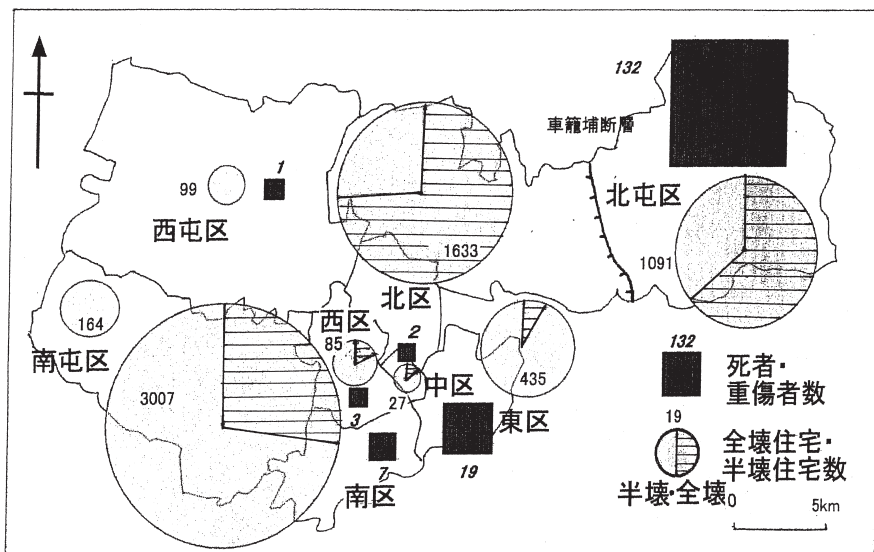


図 8 台中市における区別地震被害の発生状況（20）により作成

は地表地震断層が通過したため439ガルを示し、他区では最大200～230ガルと約半分である。震度は6に達したと推定される⁽²⁰⁾。このため、地震動による人身被害や建物倒壊が発生した。台中市における区別被害状況⁽²⁰⁾を表3に整理し、区別の被害発生状況を図8に示した。

本市では死者114名、重傷者48名、両者を合わせて162名で、人口比0.017%である。一方、住宅被害では全壊住宅2,800戸、半壊住宅3,738戸、合計6,538戸に達し被害率は2.3%に達する。死傷者率（0.017%）に対して住宅被害率が2.3%と高い理由は、高層集合住宅建築（以下高層住宅と称する）が全壊や半壊の被害を受け、被害戸数が多く集計される点にある。被害建物と河川位置を図9に示す。本市では、全壊高層住宅19棟、同半壊21棟の計40棟の高層住宅に大きな被害が発生した。南区の文心大三元（地上15階地下3階・445戸）、徳昌新世界（地上15階地

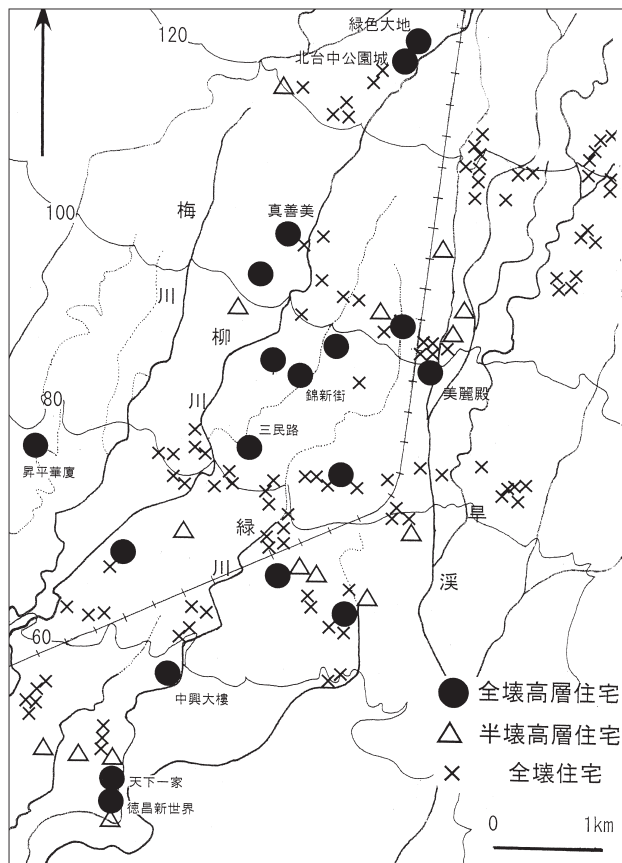


図9 台中市における被害建物の分布と河川

を中心に中正路を軸とした台中市の旧市街地中心部で、建築年代の古い耐震性の低下した低層建築物が集中する。また、緑川や柳川の河岸地域であり、表層に軟弱層が分布するため震動が増幅された結果が複合したと考えられる。③は近年の開発による住宅急増地区であり、市城南端の緑川、柳川が旱溪に合流する低湿な氾濫原に位置する。ここでは表層に軟弱層が分布し、かつ地下水位が高い(図11) ことなどから、地震動の増幅と液状化の発生が被害要因として重要であると考ええる。

(3) 高層住宅の被害と発生要因

つぎに高層住宅の被害と地形条件との関係を検討してみよう。図9には全壊18棟と半壊20棟の計38棟の高層住宅が示され、台中市の被災高層住宅の95%を含む。これから判明する点を要約してみよう。

1) 高度10mごとの被害分布を検討すると、高度40～50mが9棟、次いで70～80mに8棟、100～110mに6棟の順となる。すなわち、高度70～110mの間に22棟が分布し、全体の約6割が集中する。この高度帯は台中市の中心市街地に一致し、多数の高層住宅が分布していることに関係する。一方、南部の高度50m以下において9棟の被害が集中している点は重要である。

下2階・341戸)、北区の美麗殿(地上17階地下1階・801戸)東方巴黎(地上15階地下3階・301戸)などが大規模な全壊高層住宅であった。つぎに、逢甲大学GISセンター提供の被害データから全壊建物177棟の位置を同定し、図10の全壊建物の等値線図を作成した。図9および図10から以下の点を読み取れる。1) 全壊率の分布傾向が北北東-南南西方向に長軸をもつ。これは車籠埔断層の走向とほぼ並行し、地震断層からの距離に対応した特徴を示す。2) 全壊建物の多い地区として、①北屯区東部、②中、北、東の各区にまたがる中心市街地区、③南区の3地区が指摘できる。①は東側の至近を地表地震断層が通過したことによる。②は台中車站付近

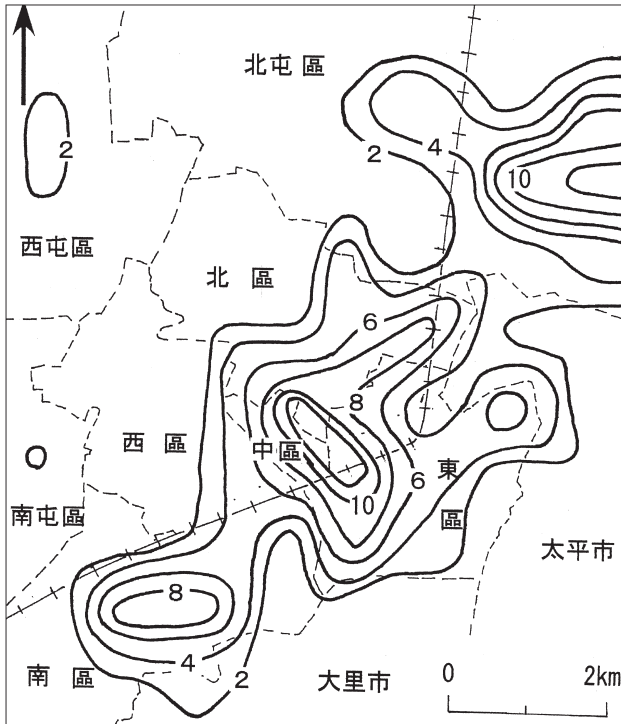


図10 台中市の全壊建物の等値線
逢甲大学 GIS センターの資料より作成

4 棟の被害が生じている。南側では緑川や柳川、旱溪の下流部にあたる流路や谷底低地で全壊 4 棟を含む10棟が集中的に被災した。とくに、4 名が死亡し341戸が被災した徳昌新世界、132 戸が被災した天下一家、30戸が被災した中興大樓、406戸が被災した文心大三元の 4 棟が代表的な全壊高層住宅である。この地域は旱溪、緑川、柳川、麻園頭溪やその他小河川が収斂し合流する低湿地帯を形成しており、地形条件が劣悪な表層軟弱層地域に発生したことを如実に示す。これまで、921地震による高層ビルの被害原因として、ピロティー形式や騎楼などの構造的欠陥、日本の約半分程度の耐震基準、手抜き工事による粗雑な建築物などが指摘されてきた^{(22) (23)}。しかし、ここで検討したように地形条件に支配された表層地盤の性質が被害の発生要因として重要であることを

2) 旧市街地が位置する鉄道の北・西側では全壊12棟、半壊 5 棟だったのに対して、新市街地である鉄道南・東側では全壊 7 棟、半壊14棟となり、被害状況が異なる。この理由は不明であるが、前者で建築年代の古い建物が多かった可能性がある。後者では全半壊高層住宅の約半数が集中的に発生している点で注意を要する。3) 河川流路とその沿岸および谷底低地に位置するものが24棟あり、全体の 63%を占める。鉄道北西側では緑川沿いの国強街、柳川沿いの錦新街や三民路、麻園頭溪沿いの昇平華廈など的高層住宅が全壊した。一方、鉄道東側では、旱溪の氾濫原沿いや旧流路で全壊 1 棟、半壊



図11 南区徳昌新世界の跡地の湛水状況
地下水位が浅いことを示す（2009年 4 月撮影）

示す。建物の年代や素材、建築構造などの検討とともに、地形分類と表層地質について詳しい検討が必要である。台湾では精度の高い地形条件図を整備し、地震災害軽減に役立てるため地形分類にもとづくハザードマップ作成が緊急の課題であると考ええる。

6. まとめ

(1) 台湾における自然災害は毎年繰り返し発生する台風および洪水によるものが最も重要である。しかし、過去30年間では921地震災害の巨大被害が突出している。また、同程度の直下型地震が約40年程度の間隔で繰り返し発生してきた。

(2) 豊原市東部、車籠埔断層沿いの地表地震断層と建物被害との関係を検討した。被害発生は逆断層に伴う撓曲帯内の地表変位による直接的結果である。活断層法は地震直後に緊急実施され、その後社会状況の変化に応じて改正され、現実的なものになっている。

(3) 台中市における死傷者および建物被害の発生状況は区ごと歴史的、地形的条件に支配されていることが明らかになった。また、被災高層住宅の6割強が流路沿いまたは谷底低地に位置しており、表層の軟弱層の震動増幅や液状化の影響が被害発生の要因と推定される。震災軽減のために、詳細な地形条件図にもとづく実用的な震災ハザードマップを早急に作成、配布することが望まれる。

〔謝辞〕 本研究を進めるに当たって、台湾師範大学沈淑敏教授、大漢技術学院許華杞名誉教授、彰化師範大学楊貴三教授、元經濟部中央地質調査所林偉雄氏には物心両面にわたって親しくご指導いただいた。また、台中市国立科学博物館の呉徳棋氏および921地震教育園區の黃嘉慧さんには現地での親切な助言をいただいた。逢甲大学 GIS センターの周天穎教授および黃碧慧助教授には台中市の被害データの提供と有益な討論を受けた。佛教大学大学院大邑潤三・土田洋一両君には現地調査を補助していただいた。以上の皆さんに深く感謝します。

本稿は拙稿 (2009) 1999年台湾921地震による豊原・台中付近の地震災害と地形、歴史都市防災論文集 vol 3 の内容を修正し、新たな資料と考案を追加したものである。

〔参考文献〕

- (1) 中央地質調査所 (1999) : 九二一地震車籠埔断層沿線地表断裂位置図。
- (2) 太田陽子 (1999) : 台湾中部集集大地震による地震断層 第1報, 地質ニュース, 543, 7~14.
- (3) Tsai, K. C., Hsiao, C. p., and Bruneau, M. (2000): Overview of building damages in 921 Chi-Chi Earthquake, Earthquake Engineering and Engineering Seismology, 2, 91~106
- (4) Loh, C. H. and Tsay, C. Y. (2000): Responses of earthquake engineering research community on the Chi-Chi(Taiwan) Earthquake, Proceeding of Canada-Taiwan workshop on natural hazard mitigation, 1~27.
- (5) 中林一樹 (2000) : 921台湾集集地震災害の特徴と震災対策の課題, 総合都市研究, 72, 117~133.
- (6) 台湾省文献委員会編 (2000) : 『九二一集集大地震救災紀實—附一〇二二嘉義大地震— (上・下)』, P1688.
- (7) 李秉乾・周天穎・雷祖強・林哲彦・黃碧慧・吳政庭 (2005) : 利用集集大地震資料建立建築物地

- 震危険度評価模式Ⅰ 建築損害資料庫，中国土木水利工科学，2005-5，1～24.
- (8) 植村善博（2001）：台湾の変動地形と地殻変動『比較変動地形論 プレート境界域の地形と第四紀地殻変動』所収，144～172. 古今書院.
 - (9) 林雪美（2004）：台湾地区近三十年自然災害の時空特性，師範大学地理研究報告，第41期，99～128.
 - (10) 經濟部中央地質調査所（2000）：九二一地震地質調査報告，P314.
 - (11) 行政院重建会（1999）：『921大地震都市計画区及郷村區建物毀損調査図集』，P 93，内政部營建署.
 - (12) 林啟文・張徽正・蘆詩丁・石同生・黃文正編著（2000）：台湾活動斷層概論第二版，中央地質調査所 特刊 第十三号，p122.
 - (13) 劉明錡（2004）：台湾西北部河階之地形学的研究，台湾師範大学地理学系博士論文，p150.
 - (14) 李元希・吳維毓・石同生・蘆詩丁・謝孟龍・張徽正（2000）：九二一集集地震地表變形特性—埤豐橋以東，中央地質調査所特刊，12，19～40.
 - (15) 大内 徹・林愛明・陳讚煌・丸山 正（2000）：1999年台湾集集地震—斷層と地震被害一，921集集地震(台湾)地震調査合同報告書，43～65.
 - (16) California Department of Conservation (1997): Fault rupture hazard zone in California, Special Publication 42, p38.
 - (17) New Zealand Ministry for the Environment (2003): Planning for development of land on or close to active fault —A guideline to assist resource management planners in New Zealand —. p67.
 - (18) 照本清峰・王 雪雯・中林一樹（2005）：台湾における車籠埔斷層沿線區域の建築制限の展開と住民の対応，日本都市計画学会 都市計画論文集，40—3，703～708.
 - (19) 石同生・林偉雄（2005）：活斷層沿線土地禁限建問題芻議 2005年台湾活動斷層與地震災害檢討會論文集，207～217，および林偉雄氏による私信.
 - (20) 台中市政府（2001）：台中市重建綱要計畫(斷層帶以西).
 - (21) 工業技術研究院（2003）：台中市車籠埔斷層帶附近地區因震災損毀之已建築用地安置計，地質鉅探與調查分析，P 75，台中市政府.
 - (22) 西川孝夫（2000）：921集集大地震（台湾中部地震）の強震動特性と建物被害，総合都市研究，72，51～58.
 - (23) 栗山利男・荏本孝久・望月利男（2000）：921台湾集集大地震における建物被害に関する一考察，総合都市研究，72，61～75.

（うえむら よしひろ 歴史文化学科）

2010年 9 月22日受理